5Б

УДК 004.942

А.В. Бухановский, С.В. Иванов, Ю.И. Нечаев
Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Россия
nechaev@mail.ifmo.ru

Моделирование экстремальной ситуации в системе исследовательского проектирования методами теории катастроф

Обсуждаются вопросы организации интеллектуальной среды, обеспечивающей поддержку функционирования компоненты моделирования и визуализации в задачах исследовательского проектирования. Приведен пример использования разработанной вычислительной технологии при интерпретации сложных динамических сцен.

Введение

Основным назначением системы интеллектуальной поддержки моделирования и визуализации в исследовательском проектировании является обеспечение конструктора необходимой информацией при разработке и принятии конкретных решений в процессе создания новых проектов с использованием накопленных знаний о гидроаэродинамическом взаимодействии судна с внешней средой. Базы знаний в таких системах используются в процедурах моделирования, связанных с вводом знаний, преобразованием и использованием их для принятия решений. При этом функции хранения знаний и функции решения задач разделены. Это обеспечивает автономное хранение информации от программ обработки результатов моделирования и позволяет легко определять, модифицировать и пополнять данные. Функции решения алгоритмических задач с помощью вычислительных моделей и процедур реализуются модулями поиска и принятия решений на основе информации, хранимой в базе знаний.

В отличие от баз данных, для которых механизмы поиска ответов на запросы достаточно хорошо изучены, соответствующие проблемы для баз знаний пока еще далеки от каких-либо эффективных решений. Опыт создания информационных систем конструкторско-технологического назначения показывает, что в настоящее время автоматизации подлежат лишь несложные, формализованные, структурированные задачи. Для сложных, неформализованных, слабоструктурированных задач (например, выбор рациональных проектных решений в условиях неопределенности и неполноты исходной информации) информационная система в лучшем случае используется в режиме диалога. Достигнутый уровень разработок систем интеллектуальной поддержки конструктора ставит вопрос о необходимости их реализации в сложных ситуациях, особенно при создании судов и плавучих технических средств новых поколений.

1 Концепция системы моделирования экстремальных ситуаций в задачах исследовательского проектирования

Концепция создания формальной системы, описывающей поведение судна в сложной динамической среде, предполагает описание взаимодействия морского динамического объекта (ДО) на основании нового подхода к интерпретации динамики

внешней среды в рамках климатических спектров морского волнения [1]. В отличие от имеющихся исследований концептуальная модель определяет построение интегрированной интеллектуальной системы (ИС) принятия компромиссных решений исследовательского проектирования. Система обеспечивает решение задач анализа и прогноза поведения судна в сложной динамической среде. Интегрированную ИС можно рассматривать как вычислительную среду нового поколения. Главной особенностью такой среды является реализация в ней базовых принципов и процедур, обеспечивающих эффективное решение задач динамики морских объектов в режиме реального времени. Усложнение алгоритмов обработки информации в интегрированной ИС приводит к необходимости широкого использования современных высокопроизводительных методов и средств при поиске новых эффективных вычислительных процедур и их параллельной реализации.

Особенности оперативного контроля поведения ДО в непрерывно изменяющейся динамической среде приводят к необходимости разработки вычислительной технологии, адекватно отображающей сложные процессы взаимодействия в системе «ДО – внешняя среда» в различных условиях эксплуатации. Анализ и интерпретация физических картин взаимодействия ДО с внешней средой осуществляются в условиях неопределенности и неполноты исходной информации [2]. Теоретическая база ИС формируется на основе эффективного сочетания накопленной системы знаний с новыми подходами и парадигмами ИИ. Среди них важная роль принадлежит методам и моделям, обеспечивающим формализацию и интеграцию знаний, механизм логического вывода, поиск решений и выдачу практических рекомендаций в условиях неопределенности и неполноты исходной информации (рис. 1).

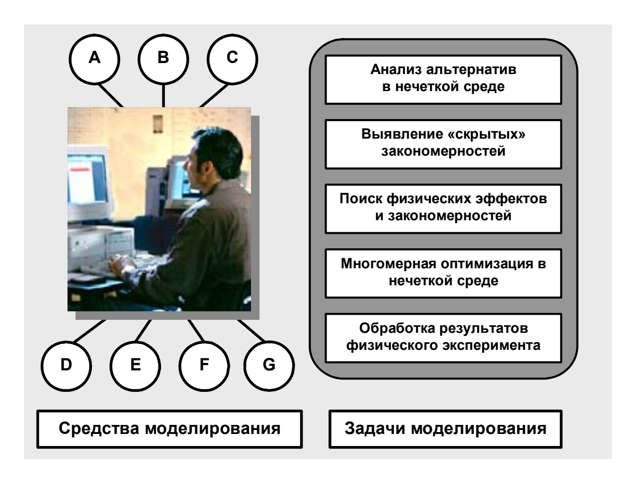


Рисунок 1 – Информационная среда анализа и интерпретации проектных решений: последовательность A – G определяет цикл задач конструктора: A – формулировка задачи; B – установка параметров; C – помещение задачи в очередь на выполнение; D – решение задачи; E – анализ результатов; F – представление результатов; G – удаление задачи

Проблема анализа и интерпретации нестандартных ситуаций занимает центральное место при создании нового поколения ИС исследовательского проектирования. Методы и модели, обеспечивающие генерацию нестандартных ситуаций и их интерпретацию, находят применение в задачах предсказания эволюции динамических характеристик и временных интервалов, определяющих критические условия исходя из обеспечения безопасности ДО. Методы оценки риска позволяют реализовать интерфейс «Конструктор – ИС» при контроле опасности ситуаций, а также при реализации прикладных

проблем управления и принятия решений (анализ альтернатив, распознавание экстремальных ситуаций и др.). В настоящей статье авторы основное внимание уделяют исследованию наиболее сложной экстремальной ситуации – удару «волны-убийцы». Гидроаэродинамическая картина взаимодействия судна с такой волной пока не изучена вследствие сложной физической природы действующих сил. В этих условиях приходится формулировать гипотезы и упрощающие предположения относительно динамики процесса и его физических особенностей.

2 Формальная модель экстремальной ситуации

Рассмотрим важное практическое приложение методов теории катастроф в *сложной динамической среде*, характеризующей *полной неопределенностью* как объекта моделирования, так и динамики внешней среды. Это – задача о воздействии экстремальных волн, которые получили название «необычные» волны или «волны-убийцы». В англоязычных публикациях такие волны называют «freak waves», «rogue waves» или даже «killer-waves», т.е. «волны-убийцы». Под «волной-убийцей» понимают внезапно возникающую интенсивную волну, которая значительно превышает (в два и более раза) значительную высоту фонового волнения.

Крупные волны в Мировом океане встречаются достаточно часто (рис. 2) и представляют грозную опасность для судоходства. Вместе с тем среди экстремальных волн можно выделить гигантские волны огромной разрушительной силы, параметры которых не соответствуют общепринятым представлениям о ветровых волнах. Приведенные на рис. 2 цифры указывают области возникновения экстремальных волн, которые практически заполняют всю картину представленного волнового поля Мирового океана.

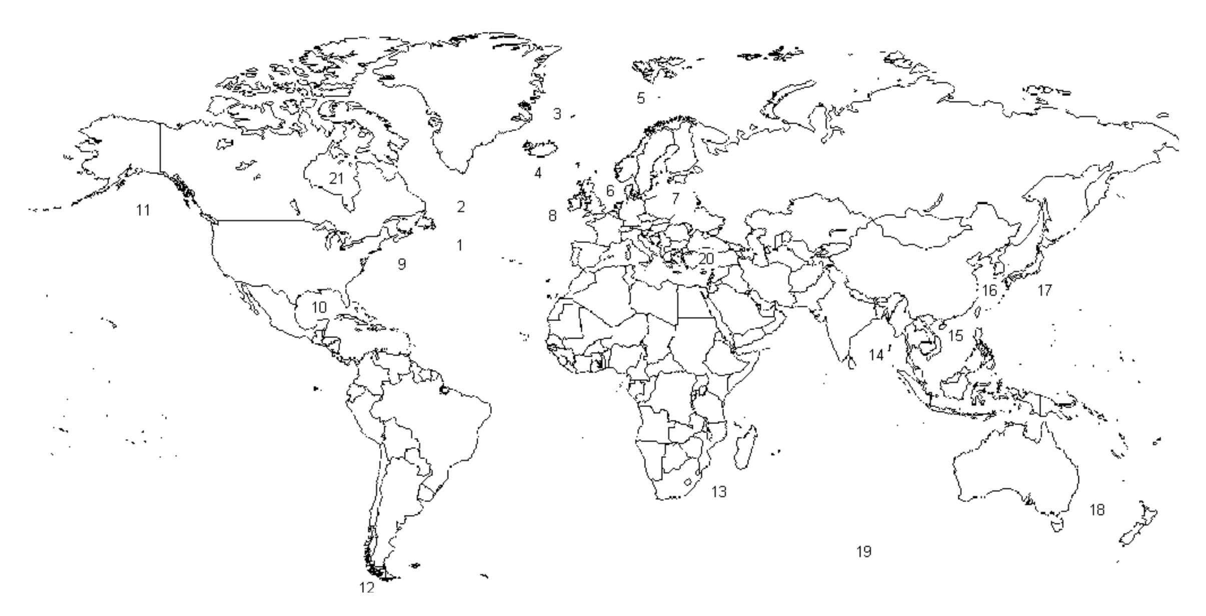
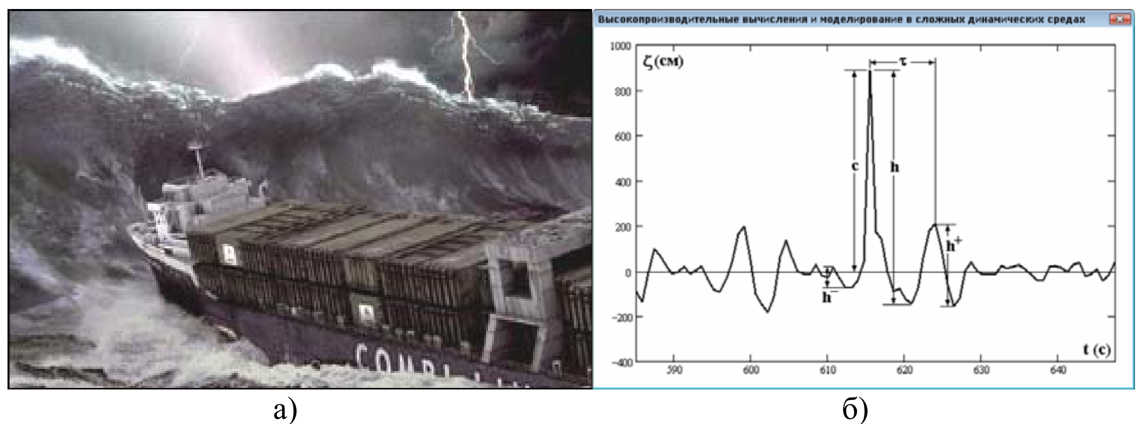


Рисунок 2 – Общая картина областей возникновения экстремальных волн в различных районах Мирового океана

Для иллюстрации опасности удара экстремальной волны на рис. 3 представлены данные о параметризации экстремальной волны и динамика взаимодействия в момент удара.



а) б)

Рисунок 3 – Параметризация необычной волны по данным измерений:
а) Черное море, 16 декабря 2000 г.; б) динамическая картина удара

3 Физическая модель

Внезапность и большая энергия экстремальных волн неоднократно приводили к гибели судов и морских сооружений. Долгое время считавшиеся фантазией мореплавателей «волны-убийцы» стали объектом серьезного изучения после участившихся случаев регистрации подобных волн на обширных акваториях океанов и морей. Наиболее известным примером «волны-убийцы» стала так называемая «новогодняя волна», зарегистрированная на нефтяной платформе Экофиск (56,5° с.ш., 30,2° в.д.) в Северном море 1 января 1995 года. Эта необычная волна имела высоту 25,6 м, гребень 18,5 м, ложбину 7,1 м.

В течение длительного времени наиболее распространенной точкой зрения являлась некоторая исключительность акваторий, где возможны необычные волны, образующиеся главным образом из-за наличия встречного течения для волноопасных направлений, резкого свала глубин и т.п. Однако по мере накопления данных о встречах с «волнами-убийцами» географический фактор теряет свою уникальность и уступает место принципу возможности встречи с этой волной на всем пространстве Мирового океана.

Исследование воздействия «волны-убийцы» на суда и плавучие технические средства освоения океана требует кардинальной модификации математической модели за счет включения в нее механизмов описания дополнительных эффектов, не учитываемых обычной гидродинамической моделью взаимодействия в условиях существенной неопределенности задачи. Физические закономерности и необычная структура «волны-убийцы» порождают ряд проблем, решение которых в рамках теории катастроф возможно только на базе новых концепций и упрощающих предположений.

4 Аналитическая интерпретация

Формулировка теоретической базы исследования динамики взаимодействия с «волной-убийцей» ведется с учетом особенностей физических картин взаимодействия судна с внешней средой. Это позволяют прояснить особенности поведения судна и избежать многих трудностей при решении проблемы методологического барьера – нелинейности, многомерности, многосвязности. На основе такой формализации может

быть построено математическое описание поведения судна как нелинейной динамической системы, определяющей процесс восприятия судном возникающих динамических нагрузок.

Несмотря на успехи, достигнутые при анализе и синтезе экстремальных волн, гидроаэродинамическая модель взаимодействия судна с внешней средой в рассматриваемой экстремальной ситуации до сих пор не разработана. Вместе с тем практика эксплуатации судов и плавучих технических средств освоения океана приводит к необходимости поиска эффективных процедур оценки опасности ситуации и разработки практических рекомендаций по выбору условий плавания в районах возникновения экстремальных волн. Одно из направлений решения этой сложной проблемы связано с реализацией синергетической парадигмы при интерпретации ситуации методами теории катастроф.

Синтез системы управления и принятия решений по обеспечению безопасности судна в рассматриваемой экстремальной ситуации может быть осуществлен на основе синергетической парадигмы [3]. Этот подход позволяет сформулировать задачу контроля динамики судна под воздействием экстремальных волн в рамках принципиального нового класса динамических систем – самоорганизующихся систем, отличающихся различным учетом естественных нелинейных свойств объекта в процессе эволюции системы.

Общая постановка задачи синтеза системы контроля экстремальной ситуации на основе синергетического подхода может быть описана с помощью дифференциального уравнения [3]:

$$x'(t) = F(x, u, q, W(t), J(t)), \tag{1}$$

где $x(t)$ – координаты состояния; u – искомые управления; q,$W(t)$,$J(t)$ – задающие, внешние и параметрические воздействия.

Переход от исходной схемы «динамический объект – внешние силы» к формированию уравнений самоорганизации осуществляется таким образом, чтобы включенные в уравнения системы внешние силы оказались для нее внутренними. Тогда для новой, расширенной системы ее уравнения могут стать уравнениями самоорганизации.

Таким образом, поставленная задача формулируется как проблема поиска законов взаимодействия между компонентами расширенной системы, обеспечивающих возникновение в ней процессов самоорганизации. Проблема сводится к синтезу соответствующих законов управления

$$U(x_1, \ldots, x_n, z_1, \ldots, z_m) \tag{2}$$

в функции координат состояния расширенной системы, где $z_1,\ldots,z_m$ – координаты информационных моделей задающих, внешних и параметрических возмущений, записанных в виде дополнительных дифференциальных уравнений:

$$z'(t) = (x, z), \tag{3}$$

z – оценки соответствующих возмущающих воздействий.

Синтезированная таким образом система должна обладать достаточным числом степеней свободы. Это означает, что если исходный объект обладает числом степеней свободы n, то для реализации цели управления в отслеживании или подавлении некоторой функции, представленной решением дифференциального уравнения размерности dim z = m, необходимо предварительно осуществить операцию расширения фазового пространства исходного объекта до размерности $\dim\Sigma = n + m$.

При синтезе системы принятия решений по управлению сложным процессом взаимодействия судна с внешней средой в экстремальных условиях на основе синергетической парадигмы требуется, чтобы структурная организация модели

взаимодействия отражала топологию фазовых траекторий и структуру формируемых *инвариантных многообразий* (аттракторов), которые учитывают естественные свойства управляемого объекта. Это позволяет выделить два общих принципа управления нелинейными динамическими объектами: принцип «расширения – сжатия» фазового пространства и «принцип эквивалентности» (сохранения) управлений при переходе системы из начального состояния в конечное.

Интерпретация поведения судна, как сложной динамической системы, проведена в терминах синергетической теории управления:

1. Предполагается, что судно, как динамическая система, под воздействием внешнего возмущения «стартует» из некоторого исходного состояния, характеризуемого множеством начальных условий фиксированной размерности и через определенное время неизбежно попадает на формирующийся аттрактор – притягивающее множество, которое имеет значительно меньшую размерность фазового пространства.

2. Эволюция сложной динамики – процесс сжатия фазового пространства, отражает особенности самоорганизации системы, развитие которой происходит в течение чрезвычайно ограниченного периода времени и может быть описано модифицированными математическими моделями поведения судна в различных фазах взаимодействия.

3. Расчетная схема использования синергетической парадигмы при оценке поведения судна при воздействии экстремальных волн может быть построена на базе стандартных соотношений, используемых в синергетической теории управления, и математических моделей, описывающих различные фазы эволюции системы в процессе движения к целевому аттрактору.

Таким образом, особенностью использования синергетического подхода при анализе динамики судна методами теории катастроф в критической ситуации, связанной с воздействием экстремальных волн, является универсальность метода исследования, а благодаря бифуркации нелинейность процессов самоорганизации определяет многовариантность путей развития системы. При этом принцип подчинения сужает диапазон величин, изменение которых с течением времени определяет процесс самоорганизации. Несмотря на то, что исследуемая динамическая система имеет сложный характер и требует учета многих переменных, применение принципа самоорганизации позволяет ограничиться лишь небольшим числом самых важных параметров порядка, чтобы эффективно наблюдать за развитием системы.

5 Геометрическая интерпретация

Общая расчетная схема оценки динамики судна в рассматриваемой задаче на основании сформулированной гипотезы представляет собой достаточно громоздкую расчетную схему, реализуемую в мультипроцессорной вычислительной среде и предусматривающую последовательную проверку безопасности судна в трех последовательных стадиях развития экстремальной ситуации. Эволюция системы в этих стадиях характеризуется постепенным уменьшением числа степеней свободы и формированием аттракторных множеств. В завершающей стадии развития эволюции при реализации эффективного управления может быть достигнуто возникновение целевого аттрактора. Если динамические нагрузки от удара экстремальной волны окажутся катастрофическими, то в процессе эволюции будет реализована критическая ситуация, приводящая к опрокидыванию судна.

В качестве иллюстрации динамики судна, воспринимающего удар экстремальной волны, рассмотрим моделирование этой ситуации на основе методов теории катастроф [4], [5]. Применим типичную для рассматриваемого случая взаимодействия

катастрофу сборки и рассмотрим возможные сценарии развития ситуации в рамках синергетической парадигмы:

– удар экстремальной волны при полном погружении судна, которое можно рассматривать как некоторое подводное судно с необычной формой корпуса и использовать модель взаимодействия, изображенную на рис. 4 а);

– развитие стремительного дрейфа вследствие удара экстремальной волны (рис. 4 б); результирующая нагрузка от гидродинамических сил в этой ситуации образует кренящий момент относительно ЦТ системы; величина этого момента непрерывно увеличивается в процессе развития дрейфа, что приводит к возникновению катастрофического крена или опрокидыванию судна.

Как видно (рис. 4 а), при таком сценарии происходит полная перестройка топологической картины катастрофы сборки. Характерные точки G, C_0, m_0, P и область бифуркационного множества B изменяют свое положение. При этом восстанавливающий момент создается за счет положительной метацентрической высоты $M(\theta) = Dh_0\sin\theta$. В идеальном случае (судно с круговыми обводами) метацентр m_0 и центр величины (ЦВ) C_0 совпадают и находятся в центре круга. Если судно выдерживает удар, то возникает ситуация, описанная в следующем сценарии.

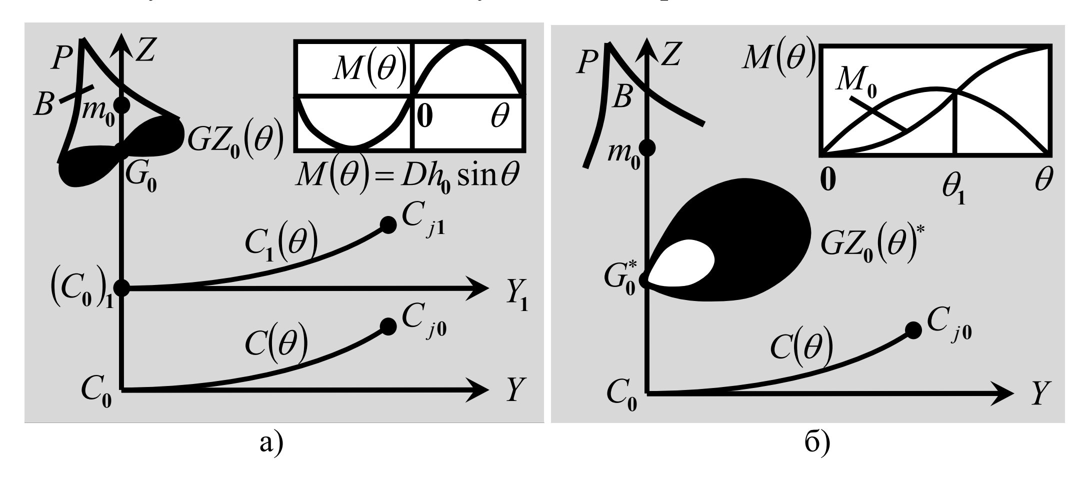


Рисунок 4 – Топологические картины взаимодействия судна с экстремальной волной: а) в момент удара; б) после удара

После восприятия удара снова происходит перестройка топологической картины катастрофы сборки (рис. 4 б). ЦТ системы располагается в точке G_0* и множество, отображающее динамическую среду, приобретает вид $GZ_0(\theta)$* (светлая область). Диаграмма остойчивости $M(\theta)$ в этих условиях формируется на основе обычных моделей преобразования информации и приобретает вид, показанный в правой верхней части экрана на рис. 4 б).

Топологическая картина ситуации, определяющей стремительный дрейф (рис. 5) принципиально отличается от обсуждаемой выше. Действительно, после восприятия удара происходит перестройка картины взаимодействия, расчет которой выполнен в рамках гипотезы квазистационарности. Судно, вовлеченное в стремительный дрейф, совершает эволюцию по пространственной траектории, проекция которой на плоскость YZ (при условии, что расстояние по вертикали $C_{0i}G_i$ = const) приведена на рис. 5. Перемещение системы координат не показано.

Здесь точками G_1,G_2,G_3 фиксируются положения ЦТ системы. Каждому такому состоянию системы соответствуют текущие значения характерных точек и областей топологической картины, типичной для надводного судна. ЦТ и ЦВ непрерывно изменяют свое положение. При этом формируется множество, отображающее

динамическую среду $GZ(\theta)$ и область изменения восстанавливающего момента $M(\theta)$, которая трансформируется за счет многих неблагоприятных факторов вследствие сложной картины нелинейного взаимодействия, и в первую очередь – влияния воды на палубе от эффекта разрушения волны после удара.

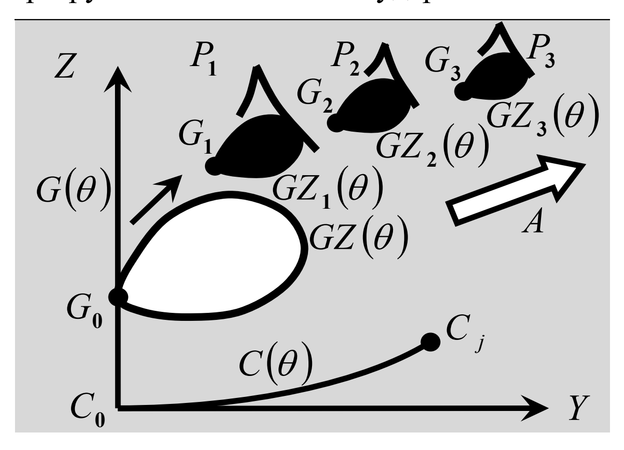


Рисунок 5 – Топологическая картина взаимодействия, отображающая движение судна в процессе эволюции под воздействием экстремальной волны

Аналитическая интерпретация динамической картины взаимодействия в условиях стремительного дрейфа напоминает картину удара разрушающейся волны, но с другими характеристиками диаграммы остойчивости $M(\theta)$ и кренящего момента M_0. Однако принципиальные моменты взаимодействия для рассматриваемой ситуации сохраняются: угол θ_1 здесь также характеризует неустойчивое положение равновесия при равенстве моментов $M(\theta)$ и M_0 в точке θ_1, а дальнейшее увеличение крена θ и опрокидывание происходят вследствие значительной величины кренящего момента и резкого снижения ординат диаграммы $M(\theta)$. Проверка адекватности используемых математических моделей при анализе этой чрезвычайно сложной практической задачи ведется на основе подхода, изложенного в работе [6].

6 Когнитивная модель

Когнитивная модель, описывающая динамику судна при воздействии экстремальных волн, представлена на рис. 6 в виде области, характеризующей эволюцию развития системы в соответствии с принятой гипотезой, сформулированной в рамках синергетической теории управления. Границы этой области $[t_0,t_1]$ отмечены моментами времени t_0 – от начала развития ситуации – до момента t_1, соответствующего углам θ_1 или θ_2.

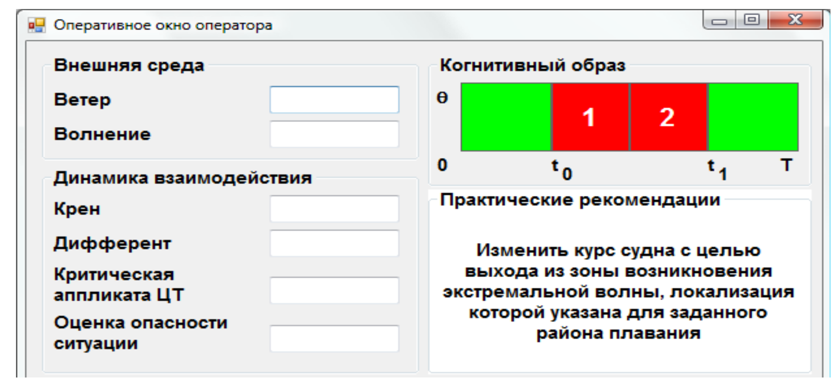


Рисунок 6 – Оперативная диаграмма и когнитивная модель с характеристиками критической ситуации динамики судна при ударе экстремальной волны

Фрагмент района возникновения экстремальной волны представлен на рис. 7, где цифрой 1 указан выделенный район плавания, цифрами 2 – области возникновения экстремальных волн и цифрой 3 – положение судна при выполнении рейса в этом районе.

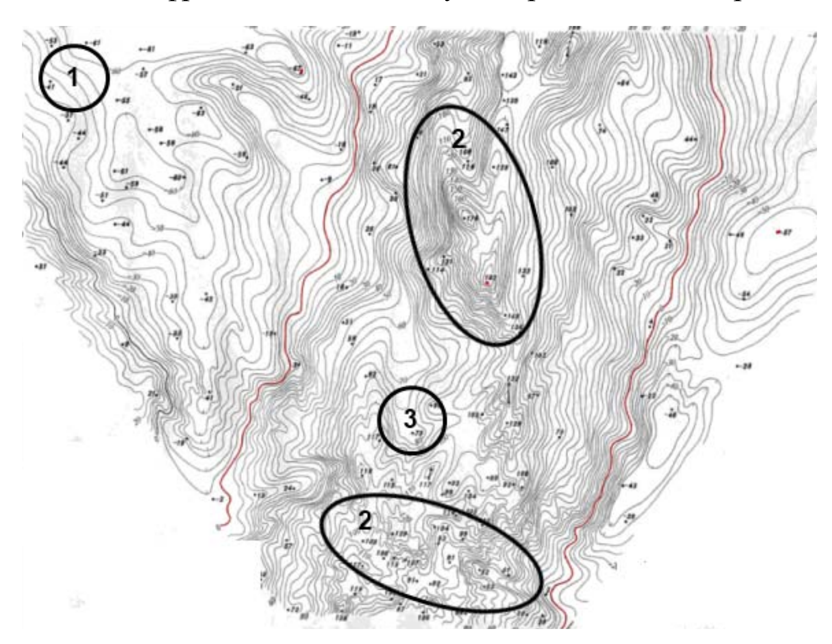


Рисунок 7 – Район плавания судна и зоны возникновения экстремальных волн (указаны цифрами)

Если прогноз развития экстремальной ситуации приводит к нарушению критериев безопасности, то область указывается красным цветом. При непрерывном нарастании крена в условиях обвального затопления палубы судна от удара экстремальной волны дополнительно к цветовой гамме дается информация об опрокидывании судна и интервале времени, которое имеется у оператора для реализации мероприятий по борьбе за живучесть судна. Зеленый цвет означает, что при заданных внешних условиях сохраняется уровень безопасности, определяемый критериальными соотношениями оценки опасности ситуации действующей системы нормирования.

Когнитивная модель содержит две возможные ситуации при ударе экстремальной волны. Цифрой 1 отмечена ситуация в момент удара, а цифрой 2 – в результате стремительного дрейфа. Опасность каждой из этих ситуаций проверяется в процессе прогнозирования динамики судна для заданных условий волнообразования.

7 Анализ альтернатив и принятие решения

Анализ альтернатив и окончательный выбор решения по управлению судном с соответствующей оценкой риска в каждом из разработанных сценариев взаимодействия в рассматриваемой экстремальной ситуации ведутся на основе метода анализа иерархий с использованием матрицы риска [2].

Построение нечеткой среды моделирования, включающей различные сочетания исследуемых сценариев взаимодействия, осуществляется в виде ситуационной модели игры с динамически меняющимся классом стратегий и управляемым сценарием. Для решения этой задачи предварительно формулируется сценарий, описываемый конечным графом [2], [6]:

$$G = (S_S, W_S). \quad (4)$$

Здесь структура $S_S = \bigcup_{t_j} S_S^{t_j}$ представляет собой объединение всех рассматриваемых (эталонных) ситуаций S_S^{tj} с учетом моментов времени, определяющих управления t_j, $j = 1, \ldots, N$, а структура $W_S \subseteq S_S \times S_S$ описывает переходы между эталонными ситуациями с помощью отображения множества тактик оператора как лица, принимающего решения I_1 – в множество дуг $\delta_A t_j : A^{I(tj)} \to W_S$ и полезностей этих тактик – в множество дуг $\delta_U t_j: U^{I(tj)} \to W_S$.

Задача нечеткого моделирования сводится к построению ситуационной модели с динамически изменяющимся классом стратегий и управлением сценариями. Алгоритм решения этой задачи реализуется в виде последовательности шагов, представленных на рис. 8. Генерация сценариев взаимодействия ДО с внешней средой при функционировании бортовых ИС осуществляется на основе модели типа «сущность – связь» [2].

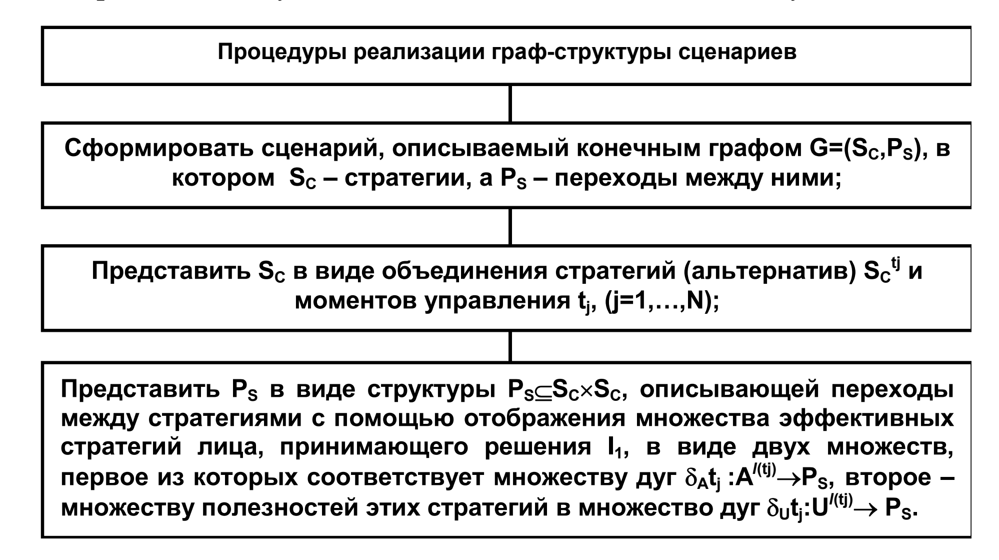


Рисунок 8 – Алгоритм генерации сценариев взаимодействия

Заключение

Разработка методов и моделей обработки информации математического моделирования сложного взаимодействия судна с внешней средой при интеллектуальной поддержке конструктора на ранних стадиях проектирования в рамках сформулированной концепции синергетического управления сводится к построению алгоритмов и программного обеспечения интеллектуальных модулей для решения конкретных практических задач. Многие из этих задач характеризуются априорной неопределенностью и неполнотой исходной информации. В таких условиях использование новых методов обработки нечеткой информации и интеллектуального анализа данных – не самоцель, а инструмент анализа и принятия решений. На основе такой оценки может быть осуществлена корректировка моделей, предприняты оперативные меры по выбору решений, осуществлена корректировка проектных данных и стратегических целей при выборе облика разрабатываемого динамического объекта. В настоящей статье продемонстрированы возможности использования новых подходов к интерпретации сложных динамических ситуаций на примере удара экстремальной волны, рассмотрены основные проблемы использования математических методов и информационных технологий в практике проектирования морских судов новых поколений и приведены результаты на пути к их решению. Практическая реализация этих методов и технологий

позволит конструктору глубже понять природу компромиссов при моделировании экстремальных ситуаций и научиться достигать их на практике.

Литература

1. Stable states of wave climate: applications for risk estimation / A. Boukhanovsky, A. Degtyarev, L. Lopatoukhin, V. Rozhkov // Proceedings of the International conference STAB'2000, Launceston, Tasmania, Australia, February, 2000. – Vol. 2. – P. 831-846.
2. Бортовые интеллектуальные системы. – М. : Радиотехника, 2006.
3. Капица С.П. Синергетика и прогнозы будущего / Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. – М. : Наука,1997.
4. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф : в 2 кн. / Гилмор Р. – М. : Мир, 1984.
5. Постон Т. Теория катастроф / Т. Постон, И. Стюарт. – М. : Мир, 1980.
6. Нечаев Ю.И. Модель катастроф нелинейной нестационарной системы (концепция и приложения) / Ю.И. Нечаев // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2010. – № 6. – С. 4-13.
7. Арнольд В.И. Теория катастроф / Арнольд В.И. – М. : Наука, 1990.
8. Бухановский А.В. Интерпретация динамики взаимодействия судна с экстремальной волной в бортовой интеллектуальной системе / А.В. Бухановский, С.В. Иванов, Ю.И. Нечаев // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 444-452.
9. Макаров И.М. Теория принятия решений / Макаров И.М. – М. : Наука, 1986.
10. Месарович М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахара. – М. : Мир, 1978.
11. Berry M.V. Semiclassical approximation on the wave mechanics / M.V. Berry, K.E. Mount // Rep. Prog. Phys. 35. – 1972. – P. 315-397.

Literatura

1. Arnol'd V.I. Teorija katastrof. M.: Nauka. 1990.
2. Bortovye intellektual'nye sistemy. M.: Radiotehnika. 2006.
3. Buhanovskij A.V. Iskusstvennyj intellekt. № 3. 2010. S. 444-452.
4. Gilmor R. Prikladnaja teorija katastrof. V dvuh knigah. M.: Mir. 1984.
5. Kapica S.P. Sinergetika i prognozy budushhego. M.: Nauka. 1997.
6. Makarov I.M. Teorija prinjatija reshenij. M.: Nauka. 1986.
7. Mesarovich M. Obshhaja teorija sistem: matematicheskie osnovy. M.: Mir. 1978.
8. Nechaev Ju.I. Nejrokomp'jutery: razrabotka, primenenie. № 6. 2010. S. 4-13.
9. Poston T. I. Teorija katastrof. M.: Mir. 1980.
10. Berry M.V. Rep. Prog. Phys. 35. 1972. P. 315-397.
11. Boukhanovsky A. Proceedings of the International conference STAB'2000. Launceston, Tasmania, Australia. February, 2000. Vol. 2. P. 831-846.

А.В. Бухановський, С.В. Іванов, Ю.І. Нечаєв

Моделювання екстремальної ситуації у системі дослідницького проектування методами теорії катастроф

Висвітлюються питання організації інтелектуального середовища, яке забезпечує підтримку функціонування компоненти моделювання і візуалізації у задачах дослідницького проектування. Наведено приклад використання розробленої обчислювальної технології при інтерпретації складних динамічних систем.

A.V. Buhanovskij, S.V. Ivanov, Yu.I. Nechaev

Modelling of Extremal Situation in the System of Research Engineering by the Methods of Cataclysmic Theory

The problems of organization of intellectual environment, which provides component operation support, and the problem of visualization in the tasks of research engineering are discussed in the article. The example of use of the developed computational technology at interpretation of complex dynamic scenes is given.

Статья поступила в редакцию 29.06.2011.